

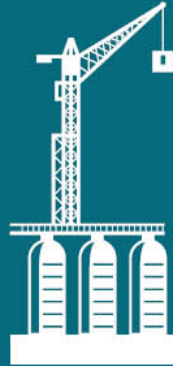
# PRINCIPIOS, HERRAMIENTAS E IMPLEMENTACIÓN DE *LEAN CONSTRUCTION*



**Luis Fernando Botero Botero**

**ESCUELA DE INGENIERÍA**

**COLECCIÓN ACADÉMICA**



**Colección  
ACADÉMICA**



*Comprometidas con  
el medioambiente*



Principios, herramientas e  
implementación de *Lean Construction*

---

Luis Fernando Botero Botero





Botero Botero, Luis Fernando

Principios, herramientas e implementación de *Lean Construction* / Luis Fernando Botero Botero. - Medellín: Editorial EAFIT, 2021.

442 p.; 24 cm. -- (Colección Académica).

ISBN 978-958-720-704-0

ISBN: 978-958-720-705-7 (versión EPUB)

1. Industria de la construcción - Administración. 2. Manufactura esbelta.  
3. Administración de proyectos. I. Vásquez-Hernández, Alejandro. II. Gómez Aristizabal, Jorge Arturo, pról. II. Tít. III. Serie

690.068 cd 23 ed.

B748

Universidad EAFIT - Centro Cultural Biblioteca Luis Echavarría

## Principios, herramientas e implementación de *Lean Construction*

Primera edición: mayo de 2021

© Luis Fernando Botero Botero

© Alejandro Vásquez-Hernández

© Editorial EAFIT

Carrera 49 No. 7 sur - 50

Tel.: 261 95 23, Medellín

<http://www.eafit.edu.co/fondoeditorial>

e-mail: [fonedit@eafit.edu.co](mailto:fonedit@eafit.edu.co)

ISBN: 978-958-720-704-0

ISBN: 978-958-720-705-7 (versión EPUB)

DOI: <https://doi.org/10.17230/9789587207040lr0>

Edición: Cristian Suárez Giraldo

Diseño y diagramación: Alina Giraldo Yepes

Imagen de carátula: 1739669882, © shutterstock.com



Universidad EAFIT | Vigilada Mineducación. Reconocimiento como Universidad: Decreto Número 759, del 6 de mayo de 1971, de la Presidencia de la República de Colombia. Reconocimiento personería jurídica: Número 75, del 28 de junio de 1960, expedida por la Gobernación de Antioquia. Acreditada institucionalmente por el Ministerio de Educación Nacional hasta el 2026, mediante Resolución 2158 emitida el 13 de febrero de 2018

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio o con cualquier propósito, sin la autorización escrita de la editorial

Editado en Medellín, Colombia

**Diseño epub:**

Hipertexto - Netizen Digital Solutions

# Tabla de contenido

---

Prólogo

Prefacio

Un poco de historia

La producción artesanal

La producción artesanal de vehículos

Henry Ford y la producción en masa

Los tres gigantes americanos de la producción en masa

El surgimiento de una nueva visión de la producción:  
sistema de producción de Toyota (TPS)

Los principios de gestión del TPS

Síntesis del capítulo

La producción *Lean*

Principios de la producción *Lean*

El concepto de desperdicio o pérdidas, desde la  
producción *Lean*

Concepto de valor

Síntesis del capítulo

Una propuesta *Lean* para el sector de la construcción

Hacia una definición de *Lean Construction*

El aporte de Lauri Koskela a *Lean Construction*

La base conceptual de la nueva filosofía de producción

El modelo de transformación

El modelo de flujo

El modelo de generación de valor

Los once principios heurísticos de *Lean Construction*

Descripción y aplicación de los once principios de *Lean Construction*

Reducir la participación de actividades que no agregan valor (pérdidas)

Aumentar el valor del resultado del proceso a partir de los requerimientos del cliente

Reducir la variabilidad

Reducir el tiempo de ciclo

Simplificar el proceso mediante la reducción del número de pasos, partes y enlaces

Incrementar la flexibilidad del resultado del proceso

Aumentar la transparencia del proceso

Enfocar el control en el proceso completo

Introducir el mejoramiento continuo en el proceso

Mantener un equilibrio entre las mejoras de las conversiones y los flujos

Hacer referenciación (*benchmarking*)

Síntesis del capítulo

*Lean Project Delivery System* (LPDS) e *Integrated Project Delivery* (IPD). Prácticas innovadoras para la mejora de proyectos de construcción

El sistema tradicional de gestión de proyectos

*Lean Project Delivery System* (LPDS)

Estructura del LPDS

## *Integrated Project Delivery* (IPD)

Principios rectores del IPD

Beneficios asumidos del IPD

Las fases del desarrollo de un proyecto según el enfoque tradicional y el IPD

La curva de *MacLeamy* en el ciclo de vida del proyecto

Desafíos para la implementación del IPD

Nuevas formas de relacionamiento contractual

## Síntesis del capítulo

## El último planificador (*Last Planner System*<sup>™</sup>)

Antecedentes e historia del *Last Planner System*<sup>™</sup>

Conceptos fundamentales

El ciclo de planificación y control de la producción en LPS

Estructura de trabajo *Lean* y LPS

Niveles de planificación del LPS

Planificación general (plan maestro)

Planificación de fases

Planificación intermedia (plan del medio plazo)

Plan semanal (plan del corto plazo)

Medición del desempeño del LPS

La dimensión social del *Last Planner System*

Aprendizaje a partir de las tareas no completadas

Recomendaciones y buenas prácticas asociadas al LPS

Recomendaciones para el plan general

Recomendaciones para el plan intermedio

Recomendaciones para el plan semanal

¿Cómo se realiza la reunión semanal?

Herramientas de soporte para la implementación del LPS

Implementación de LPS en Colombia

Síntesis del capítulo

Otras herramientas *Lean* aplicables a la construcción

La gestión visual, o *Visual Management* (VM)

Definición

Antecedentes históricos

Marco conceptual para una gestión visual

Aplicación de la gestión visual a la construcción

La gestión visual y la seguridad y salud en el trabajo

La gestión visual y la gestión de la producción

*Kanban*

Estudios de *Layout* o de distribución de planta

Generalidades para el planteamiento del *Layout*

Beneficios del *Layout* de construcción

Principios básicos para el planteamiento del *Layout* de construcción

Los estudios de *Layout* y la gestión visual

Las *5S*

Definición conceptual de cada S

Beneficios de las 5S

Implementación de las 5S

Ejemplo de la implementación de las 5S en proyectos de construcción

Mapeo de flujo del valor o *Value Stream Mapping* (VSM)

Implementación del VSM en la construcción

Elaboración del mapa de flujo de valor

## Herramientas para la identificación y eliminación de pérdidas

Clasificación y cuantificación de pérdidas

El muestreo de trabajo como herramienta para identificar pérdidas

El ciclo de mejoramiento (PHVA)

Diagrama de causa-efecto o diagrama de *Ishikawa*

Formularios de identificación de pérdidas (FIP)

Carta de balance de cuadrilla

## Medición del flujo de trabajo en la construcción

Medición de las tasas de producción

Diseño de la prueba de campo para la obtención de datos de consumo y rendimiento de mano de obra

Análisis estadístico para la obtención de datos de consumos y rendimientos de mano de obra

Determinación de los factores de afectación

## Línea de balance (*Line of balance*) y planificación basada en localización (*Location based management*)

Características del LBMS

Diferencias y similitudes del LBMS con el CPM

## Síntesis del capítulo

## Implementación de *Lean Construction*

Implementación de *Lean* en la manufactura

Medición del desempeño en *Lean Manufacturing*

Implementación de *Lean Construction*

Barreras y factores clave de éxito para la implementación de *Lean Construction*

Medición del desempeño en la construcción

Los modelos de madurez (MM)

Los modelos de madurez en la construcción

*Standardized Process Improvement for Construction Enterprises (SPICE)*

*Construction Supply Chain Maturity Model (CSCMM)*

*Construction Industry Macro Maturity Model (CIM3)*

*Lean Construction Maturity Model (LCMM)*

*Systemic Lean Construction Evolution Model (SLC-EModel)*

Síntesis del capítulo

*Building Information Modeling (BIM) y Lean Construction*

Orígenes de BIM

Definición de BIM

Dimensiones del modelo BIM

*Level of Development (LOD)*

Interoperabilidad en BIM

Usos BIM

La documentación de los procesos de la construcción y  
BIM

Plan de ejecución BIM (PEB)

Madurez BIM

Estado de implementación BIM en el mundo

Sinergia entre BIM y *Lean*

Síntesis del capítulo

Sostenibilidad y *Lean Construction*

*Alejandro Vásquez-Hernández*

Desarrollo + sostenibilidad

Desarrollo: el gran escape

(In)sostenible: la gran aceleración

Desarrollo + sostenibilidad: necesaria discontinuidad

## Construcción + sostenibilidad

Industria de la construcción. Crecimiento económico y degradación ambiental

Construcción sostenible

### *Lean Construction* y construcción sostenible

Relaciones conceptuales

Aportes de la aplicación de *Lean Construction* a la sostenibilidad

Observaciones generales

## Síntesis del capítulo

## Referencias

## Notas al pie



# Índice de tablas

---

- Tabla 1. Conceptos y aplicación de la producción en el modelo *Ford T*
- Tabla 2. Fundamentos del TPS
- Tabla 3. Principios empresariales del modelo Toyota
- Tabla 4. Principios básicos de *Lean*, según Womack y Jones (1996)
- Tabla 5. Categorías de pérdidas o desperdicios (muda) en la producción
- Tabla 6. Las ocho categorías de pérdidas, según Terry y Smith (2011)
- Tabla 7. Nueve principios de la naturaleza del valor
- Tabla 8. Clasificación del valor, según Wandahl (2004)
- Tabla 9. Clasificación del valor, según Emmitt, Sander y Christoffersen (2005)
- Tabla 10. El diseño desde los modelos de producción
- Tabla 11. Principios de producción
- Tabla 12. Principios heurísticos de *Lean Construction*
- Tabla 13. Comparación entre los principios del pensamiento *Lean* (Womack) y *Lean Construction*

(Koskela)

- Tabla 14. Principios básicos de *Lean Construction* en el marco de las etapas de un proyecto de construcción
- Tabla 15. Extensión de los principios de *Lean Construction* de acuerdo con Koskela *et al.* (2010)
- Tabla 16. Diferencias entre el sistema tradicional y sistemas *Lean*
- Tabla 17. Problemas de los modelos tradicionales de entrega de proyectos
- Tabla 18. Comparación entre sistemas tradicionales e IPD
- Tabla 19. Matriz de resultados en un proyecto IPD
- Tabla 20. Matriz de responsabilidades en un proyecto IPD en sus diferentes fases
- Tabla 21. Desafíos para la implementación del IPD
- Tabla 22. Matriz de relacionamiento con terceros
- Tabla 23. Comparación entre modelos emergentes de entrega de proyectos (*Project Delivery*)
- Tabla 24. Lista de chequeo para el planteamiento del plan general de obra
- Tabla 25. Esquema básico de identificación de restricciones
- Tabla 26. Detalle de las categorías de restricciones
- Tabla 27. Esquema general para control de liberación de restricciones
- Tabla 28. Esquema de seguimiento a restricciones

- Tabla 29. Lista de chequeo para el planteamiento del plan intermedio de obra
- Tabla 30. Propuesta de participantes en la reunión semanal de planificación en el LPS
- Tabla 31. Registro del control diario de producción
- Tabla 32. Ejemplo de planilla para registro del plan semanal en el LPS
- Tabla 33. Detalle de CNC en el LPS
- Tabla 34. Ejemplo del análisis de CNC utilizando la técnica de los *cinco por qué*
- Tabla 35. Ejemplo de la definición de criterios y variables para la calificación integral de contratistas
- Tabla 36. Ejemplo del registro de la calificación integral semanal
- Tabla 37. Ejemplo de calificación acumulada de contratistas
- Tabla 38. Lista de chequeo para el desarrollo del plan semanal de obra
- Tabla 39. Desarrollos computacionales para la implementación del LPS
- Tabla 40. Pasos para la implementación del LPS
- Tabla 41. Herramientas *Lean* utilizadas en diferentes entornos empresariales de empresas de clase mundial
- Tabla 42. Clasificación de técnicas *Lean*

- Tabla 43. Clasificación de herramientas *Lean*
- Tabla 44. Diferentes definiciones de la gestión visual
- Tabla 45. Antecedentes históricos de la gestión visual
- Tabla 46. Funciones de la gestión visual
- Tabla 47. Esquema del diseño de un sistema de gestión visual
- Tabla 48. Ventajas de un buen estudio de *Layout*
- Tabla 49. Diferencias entre las 5S y programas de orden y limpieza
- Tabla 50. Conceptos de las 5S
- Tabla 51. Frecuencia de uso de las cosas y su localización en el puesto de trabajo
- Tabla 52. Beneficios de la implementación de las etapas de las 5S
- Tabla 53. Pasos para una efectiva implementación de las 5S
- Tabla 54. Símbolos utilizados para construir un VSM
- Tabla 55. Estudios sobre cuantificación de pérdidas
- Tabla 56. El concepto de pérdidas
- Tabla 57. Taxonomía de pérdidas, según el modelo TFV de Koskela (2000)
- Tabla 58. Resultados de estudios de pérdidas en Chile y Colombia 1993-2013
- Tabla 59. Categorías de pérdidas en Chile y Colombia 1993-2013

- Tabla 60. Tabla de fuentes de pérdidas en Chile
- Tabla 61. Causas que originan las pérdidas en muestreo de trabajo Colombia
- Tabla 62. Formato registro de la prueba de la ronda y resultado obtenido
- Tabla 63. Formato registro de la prueba de los cinco minutos (porcentajes de tiempo por categoría)
- Tabla 64. Registro de las causas de tiempos improductivos y de soporte en la prueba de los cinco minutos
- Tabla 65. Pasos del ciclo de mejoramiento PHVA
- Tabla 66. Metodología de resolución de problemas con el diagrama de Ishikawa
- Tabla 67. Ejemplo de formulario de identificación pérdidas (FIP) para maestros o inspectores
- Tabla 68. Ejemplo del formulario de identificación de pérdidas (FIP) para obreros
- Tabla 69. Rangos de eficiencia en la productividad
- Tabla 70. Factores de afectación que inciden sobre el rendimiento/consumo de mano de obra
- Tabla 71. Fórmulas para la obtención del tamaño de muestra
- Tabla 72. Formato para el registro de los datos en un estudio de rendimientos y consumos de mano de obra
- Tabla 73. Estadística básica obtenida en un estudio de rendimientos y consumos der mano de obra

- Tabla 74. Valoración de los factores de afectación de acuerdo con su impacto en el rendimiento o consumo
- Tabla 75. Descripción de actividad en estudio sobre consumos de mano de obra
- Tabla 76. Resultados análisis estadístico para determinar consumo de mano de obra
- Tabla 77. Análisis de variables en factores de afectación
- Tabla 78. Análisis multivariado
- Tabla 79. Regresión lineal de consumo vs. actitud hacia el trabajo
- Tabla 80. Categorías de los factores claves para una implementación de *Lean*
- Tabla 81. Factores claves para un implementación de *Lean*
- Tabla 82. Principios rectores del modelo Shingo
- Tabla 83. Determinantes para la implementación de *Lean*
- Tabla 84. Componentes del *Lean Enterprise Model*
- Tabla 85. Métricas del *Lean Enterprise Model*
- Tabla 86. Métricas para medir la implementación de *Lean*
- Tabla 87. Barreras y FCE para la implementación de LC en Colombia
- Tabla 88. Barreras para la implementación de *Lean Construction* en el entorno internacional
- Tabla 89. Recomendaciones para una exitosa implementación de *Lean* en el entorno

internacional

- Tabla 90. Características de algunos SMD utilizados en la industria AIC
- Tabla 91. Características de algunas iniciativas para evaluar el uso de prácticas LC
- Tabla 92. Niveles de madurez en el CMM
- Tabla 93. Modelos de madurez para la gestión de proyectos
- Tabla 94. Niveles de madurez del modelo CSCMM
- Tabla 95. Niveles de madurez del modelo CIM3
- Tabla 96. Esquema general del modelo LCMM
- Tabla 97. Niveles de madurez del modelo LCMM
- Tabla 98. Factores y atributos del modelo LCMM
- Tabla 99. BG&P asociados a los atributos de los factores en el modelo LCMM
- Tabla 100. Ejemplo de declaraciones ideales para BG&P en el modelo LCMM
- Tabla 101. Ejemplo de cálculo de madurez en la organización, utilizando el modelo LCMM
- Tabla 102. Esquema general del modelo SLC-EModel
- Tabla 103. Niveles de madurez en el modelo SLC-EModel
- Tabla 104. Atributos de los factores en las categorías del modelo SLC-EModel
- Tabla 105. Definiciones de BIM
- Tabla 106. Dimensiones del modelo BIM

Tabla 107. Niveles LOD de acuerdo con BIM Fórum

Tabla 108. Propósitos y objetivos de uso BIM

Tabla 109. Descripción de los usos BIM

Tabla 110. Temas a documentar en el proceso BIM

Tabla 111. Tablas de OmniClass™ para la clasificación de la información en BIM

Tabla 112. Tablas de fases del proyecto de construcción, de la clasificación de OmniClass™

Tabla 113. Estructura de la matriz de elementos, fase, disciplina, y LOD a implementar

Tabla 114. Relación entre objetivos y usos BIM

Tabla 115. Usos BIM en las fases del ciclo de vida

Tabla 116. Campos de BIM

Tabla 117. Etapas de BIM

Tabla 118. Matriz de madurez BIM

Tabla 119. Ejemplos de estándares y guías BIM en el mundo

Tabla 120. Relación entre los principios *Lean* y BIM documentada en artículos científicos

Tabla 121. Relación entre los beneficios BIM y los principios *Lean*

Tabla 122. Pérdidas y su relación con recursos ambientales

Tabla 123. Efectos de la aplicación de *Lean Construction* sobre la sostenibilidad



# Índice de ilustraciones

---

Ilustración 1. La casa del TPS o casa *Lean*

Ilustración 2. Esquema del sistema tradicional de producción

Ilustración 3. Principio de descomposición del modelo de transformación

Ilustración 4. Modelo de flujo en la producción

Ilustración 5. Esquema conceptual de la generación de valor

Ilustración 6. Principios relacionados con la creación de valor

Ilustración 7. Modelo TFV

Ilustración 8. Estructura del *Lean Project Delivery System* (LPDS)

Ilustración 9. Fases del proyecto de construcción en IPD vs. sistemas tradicionales

Ilustración 10. Curva de MacLeamy

Ilustración 11. Línea de tiempo en el desarrollo del LPS

Ilustración 12. Esquema del sistema tradicional de planificación de proyectos

Ilustración 13. Esquema del nuevo sistema de planificación y control de proyectos

Ilustración 14. Esquema del ciclo de planificación y control del LPS

Ilustración 15. Detalle del ciclo de planificación y control del LPS

Ilustración 16. Diseño del sistema de producción

Ilustración 17. Jerarquía de la estructura del LPS

Ilustración 18. Sesión de planificación colaborativa *Pull Planning* en empresa colombiana

Ilustración 19. Medición del desempeño del LPS mediante el PPC (PAC)

Ilustración 20. Planteamiento general *Layout* proyecto ejemplo

Ilustración 21. Esquema del plan general visualizado mediante diagrama de Gantt

Ilustración 22. Esquema de plan general visualizado mediante línea de balance

Ilustración 23. Modelo 4D, visualizado mediante *Naviswork*

Ilustración 24. Ejemplo de análisis de tiempos para compra de materiales

Ilustración 25. Ejemplo reunión semanal de LPS

Ilustración 26. Ejemplo de despliegue de resultados de la reunión semanal de LPS

Ilustración 27. Flujograma para la realización semanal del LPS

Ilustración 28. Esquema de las CNC en LPS

Ilustración 29. Ejemplo de Pareto para el análisis de las CNC en LPS

Ilustración 30. Ejemplo de gráfico semanal y acumulado del PAC (PPC)

Ilustración 31. Ejemplo de despliegue compromisos semanales

Ilustración 32. Ejemplo de cartelera semanal de desempeño

Ilustración 33. Estructura de *software* de apoyo al LPS

Ilustración 34. Estructura de *Integrated Production Scheduler* (IPS)

Ilustración 35. Flujo de trabajo para *Lewis System*

Ilustración 36. Tablero generador de información CONWIP

Ilustración 37. Plataforma GICO

Ilustración 38. Plataforma IMPERA

Ilustración 39. Plataforma COCOPLAN

Ilustración 40. Lugar de trabajo donde se emplea la gestión visual

Ilustración 41. Ejemplo de indicador visual con instrucción de trabajo

Ilustración 42. Dispositivos a prueba de errores *Poka-Yoke*

Ilustración 43. Aviso de apoyo a la seguridad y salud en el trabajo

Ilustración 44. Ejemplo de visualización de trabajo de construcción a partir del escaneo láser

Ilustración 45. Ejemplo de gestión visual a partir del despliegue de buenas y malas prácticas en obra

Ilustración 46. Modelo para el planteamiento de un modelo de gestión visual en la construcción

Ilustración 47. Gestión visual en la seguridad y salud en el trabajo

Ilustración 48. Ejemplo de reunión diaria

Ilustración 49. Ejemplo de tablero WIP y trabajo en ejecución

Ilustración 50. Ejemplo *Obeya Room (gran salón)*

Ilustración 51. Ejemplo de tablero *Scrum*

Ilustración 52. Ejemplo de tablero Kanban

Ilustración 53. Esquema general de *Layout* de obra

Ilustración 54. Gestión visual para el despliegue de *Layout* de obra

Ilustración 55. Despliegue del estudio de *Layout* en la reunión de planificación semanal

Ilustración 56. Criterios de clasificación de *seiri* en las 5S

Ilustración 57. Antes y después de implementar 5S en un almacenamiento de obra

Ilustración 58. Ejemplo de seguimiento a la implementación de las 5S en obra

Ilustración 59. Ejemplo de plantilla On Line para realizar un VSM

Ilustración 60. Ejemplo de mapa de flujo de valor de un proceso de mampostería

Ilustración 61. Ejemplo de VSMM del desarrollo de un proyecto de construcción

Ilustración 62. Paretos de tiempos improductivos por categorías

Ilustración 63. Pareto de esperas de los tiempos improductivos

Ilustración 64. Esquema del ciclo PHVA

Ilustración 65. Esquema básico del diagrama de causa-efecto

Ilustración 66. Ejemplo de la utilización del diagrama de causa-efecto en la construcción

Ilustración 67. Ejemplo de carta balance cuadrilla en actividad de construcción

Ilustración 68. Procedimiento para el análisis estadístico de datos en un estudio de rendimientos de mano de obra

Ilustración 69. Estructura de la jerarquía de localización para nivel superior e intermedio, en un proyecto de construcción

- Ilustración 70.Comparación en la visualización de un proyecto en LBMS y CPM
- Ilustración 71.Marco de referencia para la implementación *Lean*
- Ilustración 72.Pasos para transformar con éxito una organización
- Ilustración 73.El triángulo *Lean*
- Ilustración 74.Categorización de la definición de *Lean*
- Ilustración 75.Dimensiones BIM y su utilización
- Ilustración 76.Propósitos y características de los usos de BIM
- Ilustración 77.Usos secundarios de BIM
- Ilustración 78.Usos BIM
- Ilustración 79.Tetralogía
- Ilustración 80.Campos de BIM
- Ilustración 81.Estado de la implementación de BIM en el mundo
- Ilustración 82.Funcionalidades BIM y principios *Lean*
- Ilustración 83.Demanda ecológica y biocapacidad
- Ilustración 84.Esquema de los sistemas productivos orgánico e industrial
- Ilustración 85.Demanda social de productos y servicios y, ecoeficiencia
- Ilustración 86.Líneas de actuación para la ecoeficiencia